



## Face aux risques, acier ou béton ? Pour un choix raisonné.

Par Salah BEGHILI, architecte  
ADF group

C'est vers le 5<sup>ème</sup> siècle de notre ère que les Celtes découvrent la transformation du fer en acier. Ce nouveau métal est appelé, plus tard vers le Moyen Age, l'acier de Damas. Entre 1740 et 1750, un anglais nommé HUNTSMANN réussit à obtenir pour la première fois de l'acier par fusion du fer. Mais la véritable révolution fut sans conteste l'invention du convertisseur (d'un autre Anglais, H. BESSEMER, en 1855). A titre indicatif, en 1806, la production de fonte dans un haut fourneau était de 4 tonnes/jour.

Au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, l'Angleterre possède une avance technique et technologique évidente et impose ses découvertes à l'Europe. Entre les deux guerres mondiales la production d'un haut fourneau est de 100 tonnes/jour et atteint, en 1940, près de 500 tonnes/jour. Aujourd'hui, certains hauts fourneaux produisent jusqu'à 10 000 tonnes de fonte/jour. De nos jours, il existe plus de 3000 nuances d'acier.



### L'apport de l'acier par rapport au béton

L'Algérie connaît présentement une grave pénurie de sable, élément essentiel à la composition du béton. Cette pénurie entraîne des conséquences irréparables en ce qui concerne l'environnement<sup>1</sup> et affecte particulièrement les coûts et les échéanciers des projets prévus et/ou en cours de réalisation. Pour ajouter à ce problème, la volonté du gouvernement algérien est d'investir fortement dans les prochaines années dans tous les domaines dont principalement le transport, ainsi que dans différents types de projets tels que les assainissements, les ouvrages d'art, etc.

L'utilisation de la charpente métallique aura sûrement sa place dans bon nombre de ces projets, ce qui aura comme effet bénéfique de réduire la pression sur l'approvisionnement en béton armé et le respect des échéanciers déjà projetés. La réalisation de charpente en acier permet de réduire de façon considérable la quantité de béton requis. Il est évident que l'on ne pourra jamais faire disparaître le béton armé comme éléments d'une charpente, mais utilisé en quantité réduite, les problèmes engendrés par son utilisation s'en trouveraient grandement diminués.

Certains diront que la fluctuation du prix de l'acier constatée au cours des derniers

mois provoquera une hausse du prix des constructions. Cette affirmation n'est pas totalement fautive, il faut cependant considérer d'autres aspects. Premièrement, suite à l'écroulement du prix du sable<sup>2</sup>, on ne peut pas affirmer que les structures en béton n'ont pas été touchées par cette augmentation.

Deuxièmement, les charpentes en béton armé comportent également une certaine quantité d'acier qui n'est somme toute pas négligeable. A titre d'exemple, un pont typique en acier contient en moyenne 326 t d'acier tandis qu'un pont typique en béton contient 226 t d'acier d'armature<sup>3</sup>, ce qui est une quantité d'acier considérable pour une structure considérée être en béton. Si on tient compte de l'ensemble des augmentations subies par les charpentes en béton armé, il est évident que les charpentes en acier ont aussi subi des hausses de coûts importantes.

La réalisation de projet en régions éloignées permet à l'acier de démontrer d'autres de ses avantages. De toute évidence, tout genre de construction en régions éloignées est difficilement réalisable en béton armé.

Dans ces régions, pour la plupart des cas, le type de construction qui devient le plus avantageux sur le plan technico-économique, est sans aucun doute, la



construction en acier. Les charpentes d'acier étant fabriquées en usine, l'approvisionnement en matière première n'est donc pas un obstacle à l'avancement du projet, comme peut l'être le béton coulé en place. Aussi, les composantes étant déjà fabriquées lors de leur arrivée sur le site, le montage de la structure s'effectue plus rapidement, réduisant ainsi les coûts et les durées de mobilisation.

En ce qui concerne la modernisation des méthodes de construction dont l'Algérie a grandement besoin, qu'elle soit domiciliaire, commerciale, industrielle ou autre, l'apport de l'expertise d'une firme étrangère maîtrisant les technologies de pointe fera bénéficier les projets algériens d'économies en coût des matériaux et en délai de réalisation, que ce soit pour la charpente métallique ou les éléments en béton armé requis sur les projets de charpente métallique.

### Éléments à considérer sur le plan géographique et démographique de l'Algérie

La côte Nord de l'Afrique (la région la plus développée) réside sur une zone hautement sollicitée par des séismes fréquents et de forte intensité. L'histoire sismique algérienne démontre clairement cette situation ; l'acier devient le matériau incontournable dans les zones à risque sismique élevé. D'autre part, l'Algérie fait présentement face à une grande pénurie de logements. Une éventuelle mise en construction d'un grand nombre de logements engendrera automatiquement le développement des infrastructures

publiques, des réseaux routiers avec ponts et viaducs, ainsi que d'autres développements connexes. Donc, l'acier va servir sur plusieurs niveaux dans le développement futur de l'Algérie.

Il est évident que la construction en acier à elle seule ne solutionnera pas tout mais, utilisée à sa juste valeur, elle peut incontestablement devenir un complément très efficace à la construction en béton armé.

### Quels sont les avantages apportés par la construction en acier ?

Chaque type de construction privilégie un type de matériau plutôt qu'un autre. Tout comme le béton armé et la charpente en bois ou en aluminium constituent le choix naturel pour certains projets, l'ACIER demeure le choix idéal pour d'autres types de projets, et ceci est largement démontré dans le monde entier. Voici quelques avantages de l'acier :

- ◆ Excellent rapport résistance / poids (toujours plus élevé d'où allègement des structures), renforcé par l'utilisation d'aciers à très haute résistance ;
- ◆ Stabilité et fiabilité dans le temps : bien entretenu, il ne s'altère pas et conserve l'intégralité de ses propriétés ;
- ◆ Adaptabilité : possibilité d'aménagements de l'ouvrage en cours de vie (élargissement du pont suspendu de Lisbonne sur le Tage, par exemple, avec la création d'un niveau supplémentaire pour le trafic ferroviaire) ;
- ◆ Réparations aisées et rapides, n'interrompant pas l'utilisation de l'ouvrage ;
- ◆ Bon rapport à l'environnement : intégration harmonieuse, recyclage systématique, déconstruction aisée ;
- ◆ Esthétique : structures élancées et ouvragées ;
- ◆ Sécurité accrue pour les ouvriers, du fait de la part importante du travail en atelier ;
- ◆ La durabilité des ouvrages en acier, qui a été réévaluée ;
- ◆ La simplification des structures ;
- ◆ Les progrès métallurgiques et l'optimisation de la production ;
- ◆ L'amélioration des méthodes de montage, avec une importance accrue de la rapidité du montage ;
- ◆ Les progrès des peintures anti-corrosion ;
- ◆ Meilleure maîtrise de la fissuration de la dalle sur appui, suite à la recherche, qui est un élément clé pour la durabilité de l'ouvrage.

Il est aussi vrai que par culture, certains pays sont plus portés à construire soit en béton armé, soit en acier ou en bois. Actuellement l'Algérie, comme la majorité des pays du Maghreb, accorde sa préférence au béton armé, par habitude ou par méconnaissance de l'acier. Le débat reste ouvert.

À la lumière de tout ceci, il est important de mettre en évidence certains des avantages que peut apporter l'acier dans les nouvelles constructions algériennes. En voici les principaux :

### Le développement durable :

Depuis plusieurs années, le développement durable est devenu une préoccupation grandissante pour les concepteurs de projet. Mais qu'est ce que le développement durable ? Le développement durable est une prise de conscience sociale qui favorise l'utilisation de méthodes, de matériaux ou de systèmes qui vont participer à une économie d'énergie, que ce soit au cours de la vie du projet ou lors de la production des matériaux, et qui ainsi contribuent à la sauvegarde de l'environnement.

Cette sauvegarde est devenue une exigence mondiale incontournable et l'Algérie n'y échappera pas. La mise en chantier prévue de multiples projets de tout type et de toute envergure pourrait causer bien des problèmes environnementaux si la considération de matériaux et/ou du principe de construction est négligée. En effet, l'Algérie a déjà sa part de problèmes environnementaux causés par la pénurie d'une des matières premières requises pour la fabrication du béton : le sable. L'extraction sauvage du sable de mer et de rivière a déjà causé de nombreux dégâts. " Des terres agricoles ont été infiltrées par les eaux usées les rendant très fragiles et inexploitable, des cultures ont été entièrement saccagées, des forages d'eau potable ont été atteints





par la salinité de l'eau de mer, des cours d'eau ont changé de direction causant des inondations dans plusieurs régions atteignant même des ouvrages d'art et créant des déchaussements de routes et de ponts.<sup>4</sup>

L'acier devient donc un incontournable pour la sauvegarde de l'environnement. Pourquoi ? Grâce à son potentiel de recyclabilité très élevé. Environ 88 % de tous les produits manufacturés en acier le sont à partir d'acier recyclé alors que le pourcentage s'élève pratiquement à 100 % pour les produits de construction<sup>5</sup>.

Une boîte de conserve recyclée peut devenir une poutre et vice-versa. Il n'y a pas de limite à la transformation, et il n'y a pas non plus de limite au nombre de fois que l'acier pourra être réutilisé.

Le calcul sismique :

Tel que mentionné précédemment, l'Algérie est située dans une zone sismique à risque élevé. Les dernières secousses sismiques survenues en Algérie ont frappé durement et ont causé de nombreuses pertes en vies humaines ainsi que des dommages aux bâtiments et aux infrastructures. Ces séismes ont aussi démontré la difficulté des méthodes usuelles de construction algérienne à résister à des efforts d'une telle magnitude.

Ces événements ont aussi permis de constater que les bâtiments de charpente métallique ont très bien performé durant ces mêmes événements. À titre d'exemple, le hangar d'Air Algérie situé à proximité de l'aéroport d'Alger, conçu et fabriqué par ADF, fut inspecté après le séisme de Boumerdès par le CTC centre, et aucun dommage n'a été constaté à la structure principale.

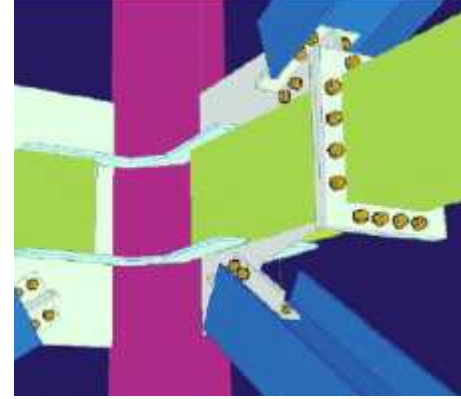
Seules quelques fissures dans les dalles de béton sont apparues et quelques boulons d'une passerelle ont cisailé, rien de plus. Pour quelles raisons les charpentes métalliques résistent-elles mieux aux effets

sismiques? Il est à noter que l'acier, résistant autant à la traction qu'à la compression, est aussi un magnifique dégradeur d'énergie et constitue le matériau idéal pour la construction des ossatures parasismiques. Grâce à sa ductilité - la ductilité étant la propriété d'un matériau de se laisser déformer facilement sous certaines conditions de température, de pression et de vitesse des sollicitations - l'acier est apte à subir un certain niveau de déformation avant que ne survienne une rupture de l'un des éléments de sa charpente.

Durant un séisme, une charpente en acier peut osciller considérablement. Cependant, tant que la déformation imposée aux éléments en acier ne dépasse pas la limite de déformation élastique de l'acier, la structure reviendra à son état initial d'avant le séisme. Lorsque cette limite élastique est atteinte voir dépassée, l'acier subit alors une déformation permanente, mieux connue sous le terme " déformation plastique ". Toutefois, si l'acier subit une déformation permanente, cela ne signifie pas pour autant qu'il y aura un effondrement de la structure. Les effondrements sont principalement causés par la rupture d'un élément de liaison entre deux membrures, aux assemblages poutre à poutre ou encore de poutre à poteau.

Heureusement, des règles de calcul ont été développées afin de concevoir des structures et des assemblages qui éviteront d'avoir des ruptures au niveau des assemblages ou à d'autres endroits critiques. Suivant l'application de ces règles, les assemblages sont conçus de façon à créer des déformations aux emplacements les moins critiques. Le flambement d'une plaque d'assemblage est à favoriser en comparaison avec le cisaillement des boulons ou de la soudure de cette plaque. La plaque, même déformée continuera à supporter les membrures tandis que le cisaillement des boulons ou de la soudure causera probablement un effondrement presque immédiat des composantes supportées par cet assemblage, causant ainsi d'importants dommages, voir la perte complète du bâtiment, et potentiellement celle de vies humaines. La très faible ductilité du béton rend impossible les déformations plastiques, ce qui engendre presque inévitablement l'effondrement lorsque la limite d'élasticité est dépassée, et cette limite est très basse sur certain type de projet.

Ces règles de calculs existent depuis plusieurs années et sont continuellement mises à jour selon les résultats des différentes recherches effectuées en



laboratoire ou suite à des cataclysmes naturels. L'application de ces règles ne doit pas se faire à la légère. Le concepteur chargé de mettre en application les règles de calculs doit les maîtriser pour être en mesure d'utiliser les systèmes de reprise des charges latérales le plus efficaces qui soient, selon le type d'ouvrage qu'il doit exécuter.

Un autre avantage de l'acier en ce qui concerne les séismes, est son poids propre relativement faible comparativement à celui d'une structure en béton armée. Lors du calcul de la force sismique qui agit sur un ouvrage, le poids affecte directement la grandeur de l'effort qui agira sur cet ouvrage lors d'un séisme. L'augmentation de l'effort est directement proportionnelle à l'augmentation du poids propre de l'ouvrage. Paradoxalement, le type de structure résistant le moins aux efforts latéraux causés par un séisme, est celui qui a le poids propre le plus élevé.

La rapidité de construction :

La rapidité de construction au-dessus d'infrastructures en service gagne en importance, ceci pour des raisons purement financières liées à la durée du chantier, mais aussi pour des raisons de gestion du trafic et d'occupation des ouvrages. Il a été démontré que l'utilisation de l'acier, en remplacement du béton, a engendré des diminutions de 72 % au niveau de l'échéancier, de même qu'une économie de 32 % en coût de matériel<sup>6</sup> sur certain type de projet. En région éloignée, la rapidité de construction devient encore plus importante dû au fait qu'il y a des coûts de mobilisation des travailleurs.

La simplification des structures :

La conception des ouvrages métalliques évolue vers une simplification des structures qui comportent moins de détails qu'auparavant.

Ce changement engendre les effets bénéfiques suivants :

- ◆ Une automatisation de la production ;
- ◆ Une réduction du nombre de pièces à produire ;
- ◆ Une moins grande sensibilité des structures à la fatigue ;
- ◆ Une protection anti-corrosion plus facile à mettre en œuvre et moins sujette aux défauts ;
- ◆ Une réduction du nombre de détails sensibles à la corrosion.

Les progrès en matière d'automatisation de la production et de techniques de soudage ont permis de réduire les coûts de production.

La durabilité des ouvrages :

Beaucoup de progrès ont été faits dans la chimie des peintures. Les deux à trois couches appliquées actuellement permettent de garantir une durée de vie de 15 à 20 ans. Dans la réalité, on constate généralement que les peintures ont une durée de vie plus longue que prévue.

Les technologies informatiques (logiciels Xsteel, Staad, etc.) :

Au fil des ans, la technologie informatique s'est grandement développée et l'industrie de l'acier a très bien su s'adapter. Les bureaux d'ingénierie procèdent dorénavant au calcul des charpentes à l'aide de logiciels de calcul puissant tel que Staad, SAP2000 et autres. L'utilisation de ces logiciels permet d'optimiser rapidement les différentes composantes de la charpente à l'étude. De plus, il est facile de procéder à plusieurs simulations dans le but d'obtenir la structure la plus économique possible en fonction des critères de conception. Comme on le sait, le calcul des réactions engendrées par un séisme est complexe. L'utilisation de tels logiciels vient donc aider l'ingénieur à accomplir ses tâches.

Lorsque les plans d'ingénierie sont complétés, les dessins de fabrication peuvent être réalisés. En se servant des capacités de transfert entre les logiciels d'ingénierie et de dessin, le modèle élaboré par l'ingénieur peut être transféré au bureau de dessin. Parmi les logiciels de modélisation de dessin en 3 dimensions capables de tels transferts, utilisés tant en Europe qu'en Amérique, on retrouve le logiciel Tekla Structures, produit par la firme Finlandaise Tekla. Ce logiciel permet de modéliser les éléments de la structure, mettre en place les assemblages de façon automatique à l'aide d'outils préalablement installés à l'intérieur du logiciel, générer les dessins de fabrication et de montage et finalement produire les fichiers de contrôle numérique qui serviront à la fabrication des composantes. L'exactitude des modèles générés par ces logiciels assure une précision remarquable, tant à la fabrication qu'à l'étape d'installation sur site.

Un autre avantage de l'utilisation du logiciel Tekla Structures, est que plusieurs usagers peuvent travailler simultanément sur le même modèle et ce même s'ils sont situés à des endroits différents. Ainsi, un bureau d'études situé au Canada pourrait prêter main forte à un autre bureau en Algérie tout en travaillant sur le même modèle. Par ailleurs, chacun des intervenants du projet pourrait éventuellement avoir un accès au modèle pour organiser ou coordonner leur travail. De nos jours, les équipements de production disponibles sur le marché peuvent être contrôlés à l'aide de fichiers numériques provenant des logiciels de modélisation 3D.

De cette manière, le risque d'erreurs humaines s'en trouve grandement diminué du fait que la production est contrôlée de façon numérique. Les pièces produites reflètent donc parfaitement ce que l'on retrouve dans le modèle. L'auto-matisation de la fabrication apporte aussi une rapidité de production accrue en comparaison avec le travail manuel. Le travail manuel est donc réduit à son minimum.

- 1 Algérie : Le gouvernement déroge à la loi pour pallier la pénurie de sable. Maroc Info Com, 6 août 2005.
- 2 Alger : Les prix du sable et de l'acier explosent. Le Quotidien d'Oran, 10 août 2005.
- 3 Corus Construction, NSC January 2005
- 4 Algérie : Le gouvernement déroge à la loi pour pallier la pénurie de sable. Maroc Info Com, 6 août 2005.
- 5 Steel Takes LEEDTM with Recycled Content. Steel Recycling Institute.

أمام الخطر الخرسانة أو الفولاذ - الاختيار الأمثل؟

تم اكتشاف تحويل الحديد إلى فولاذ عبر القرن 05 بعد الميلاد حيث سمي "بفولاذ ادمشق" تقدم الإنجيز تكنولوجيا في ميدان الفولاذ في أواخر القرن 19 وظهر هذا حاليا في أوروبا إذ سنة 1940 كان تحويل الفرن للفولاذ ما يعادل 500 / اليوم و قد وصل إلى 10.000طن/اليوم و في أيامنا وصل إلى غاية 3000 نوع من الفولاذ. تشهد الجزائر نقص كبير في الرمل الذي يعتبر عامل أساسي في تكوين الخرسانة و هذا النقص يلعب دورا سلبيا على محيط و كذلك على الاسعار و إدارة السلطات الجزائرية في إستثمار كبير لسنوات المصلة فاستعمال الصقالة لها دورا مهم في مشاريع عديدة ولا نقاص استعمال الخرسانة فتحويل الحديد إلى فولاذ أنقص من استعمال الخرسانة إلا أنه لا يمكن التخلي عن الخرسانة و إنما الإنتفاص من استعمالها فقط لتجبتا من مشاكل نقصانها . هناك البعض يقول أن غلاء الفولاذ يعني تكلفة البناء إلا أن هناك عوامل أخرى ، أو لها ارتفاع سعر الرمل و تكوين هذا الأخير للخرسانة يؤدي إلى ارتفاع سعرها أيضا . يظهر لنا فائدة الفولاذ عند استعماله في المناطق البعيدة التي يصعب استعمال فيها الخرسانة فصناعة قسالة الفولاذ بالمصانع فيه ربح للوقت و نقص لتكلفة البناء كون الفولاذ مركب مسبقا. وفيما يخص تطور كفاءات البناء بالجزائر يشترط أن تكون داخلية تجارية صناعية.

عامل معتبر مجال ديموغرافي و جغرافي في الجزائر : إن الشمال الإفريقي الأكثر تطورا يعتبر الأكثر تعرضا للزلازل إذ لا يمكن استعمال غير الفولاذ في أماكن كهذه فشرع الجزائر ببناء عدة بنائات شبيبة ضروري لاستعمال الفولاذ . ماهي فوائد الفولاذ بالبناء ؟كل بنائية تتطلب استعمال مواد معينة، خرسانة، حطب ، المنبوم إلا أن الفولاذ يعتبر الأحسن في بعض المشاريع ومن فوائده: مقاومة كبيرة ، صلابة ، رسوخ ، تكيفية ، إصلاح سريع، علاقة جيدة مع المحيط ، تقلم منسجم إعادة الجدولة ، تهديم نظامي آمن للعمال ، بساطة الهيكلية ، سرعة التركيب و أكثر تحكم في إشفاف قاعدة البناء. إلا أن الجزائر كغيرها من البلدان المغرب تستعمل الخرسانة في البناء لعدم معرفتها للفولاذ يبقى الجدل مفتوح و فوائد عديدة للبنائات الجديدة التي ستقام بالجزائر منها : تطور مستمر، يعني الاعتبار ذلك توعية إجتماعية لاستعمال الطرق و المواد الأكثر اقتصادا للطاقة و حفاظا على المحيط و الأخذ بعين الاعتبار استعمال الفولاذ لحماية المحيط إذ يمكن التخلي عن هذا كونه قابل لإعادة الجدولة. نتج عن الزلزال الأخير بالجزائر خسائر بشرية و تهديم للعديد من البنائات هذا راجع لاستعمال طرق غير سلمية في البناء على غيرها تلك المبنية بالفولاذ و التي تمكنت من مقاومة الزلزال العنيف مثلما : " عدم تهديم مبنى الخطوط الجزائرية" ببومرداس رغم و جودها مركز الهمزة. إن الصقالة الفولاذية تقاوم للسحب أكثر من الانصفاط فبفضل طلائيتها يمكن اعوجاجها في درجة ملائمة و ضغط معين و يمكن عودتها إلى مكانها خلال الهمزة أما عدم عودتها الذي يسمى " إعوجاج بلاستيكي " لا يعني انهيار البناية. ولحسن الحظ تم تطوير قاعدة في كيفية تجميع هياكل البناية لتجنب تبعاتها الذي يتسبب في انهيارها. إن خفة الفولاذ أيضا تنقص في قوة و جسامته الهمزة المؤثرة على هياكل البناية . بالنسبة لسرعة البناء: لقد توضح أن استعمال الفولاذ في مكان الخرسانة حقق نقصان 72 % من مستوى الاستحقاقات وكذلك 32 % في اقتصاد كلفة البناء في بعض المشاريع . إن التقدم التكنولوجي في مجال الإعلام الآلي و استعمال اللوجيسيات حقق زيادة سريعة في كفاءة استعمال الصقالة ، واستعمال هذه اللوجيسيات يساعد المهندسين أعماله فمن بين هذه اللوجيسيات " تكلاستروكتور " الذي يسمح بتطور عوامل البناء وفائدته أنه يستعمل من متدخلين رغم بعد المسافة بينهما فإنهما يستعملانه في آن واحد ولهما أن ينضما إتفاقا حول عملهما. في أيامنا مراقبة عملية البناء عن طريق سجل التومريك بلوجيسيات 3D، حدد من الأخطاء التي يرتكبها الإنسان عند استعماله لطريقة اليدوية، ومن ثم ربح ملموس للوقت.

